



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# LUJATANKKI

## NESTEEN VARASTOINTISÄILIÖ

TEKIJÄ/T: Teemu Nieminen  
Rakennesuunnittelija, RI (amk)  
Lujabetoni Oy

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Teemu Nieminen	
Työn nimi Lujatankki nesteen varastointi säiliö	
Päiväys 20.12.2017	Sivumäärä/Liitteet 58/22
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaja Arto Puurula, TkT ja lehtori Harry Dunkel, DI	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujabetoni Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Insinööritöiden tavoitteena oli suunnitella betoniteollisuuteen uudenlainen vakiotuote-elementtijärjestelmä nesteen varastointia varten. Työn tilaajana oli Lujabetoni Oy Siilinjärven tehtaan maatalousyksikkö. Lujabetonilla oli tarve tuottaa uudenlainen kotimainen tuote kasvavan maatalouden tarpeisiin. Lisäksi uuden elementin jatkokehitys/laajentuminen teollisuuden tarpeisiin oli ajatuksena mukana.</p> <p>Tässä insinööritöissä suunniteltiin uusi vakiotuote-elementti, Lujatankki säiliön rakentamista varten. Työssä käytettiin käsinlaskentaa ja tutkittiin mallintamista Abaqus 3d FEM-ohjelmalla. Työ aloitettiin tutkimalla jo markkinoilla olevia erityyppisiä kilpailevia ratkaisuja. Työssä päädyttiin kokonaisuuteen, jossa elementeistä tehtiin pohjamuodoltaan pyöreä kokonaisuus ja elementtien ympärille lisättiin jälkijännitetyt punokset.</p> <p>Työn tuloksena saatiin uusi elementtityyppi Lujabetonin vakiotuotejärjestelmään. Lisäksi työssä tehtiin nestesäiliön rakentamista varten rakennustapaselostus ja mitoitusaulukko.</p>	
Avainsanat jännepunos, esijännitetty, jälkijännitetty, betoni, nestesäiliö	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Teemu Nieminen			
Title of Thesis Lujatank – a Storage System for Liquids			
Date	20 December 2017	Pages/Appendices	58/22
Supervisor(s) Mr Arto Puurula, Principal Lecturer (PhD); Mr Harry Dunkel, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Lujabetoni Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to plan a new standard product system for storing liquids. This project was commissioned by Lujabetoni farm building department when a need for creating a new domestic product system for the growing market in agriculture was noticed.</p> <p>First, the competing models that were already on the market, were studied. The calculations for this study were made by hand but modeling was also studied by using the Abaqus 3d FEM-program. A precast element model with a round shaped base and around the elements, post-tensioned strands were added around the precast units.</p> <p>As a result of this study a new product type was created. In addition, building instructions for the system for liquids and design calculation table were made.</p>			
Keywords strand, prestressed, post-tensioned, concrete, liquid storage			

## ALKUSANAT

Opinnäytetyön tekemisestä haluan antaa suuren kiitoksen Lujabetoni Oy:lle mahdollisuudesta tehdä kehitystyötä opinnäytetyön muodossa. Kiitos kuuluu myös työkumppaneille sekä Lujabetonin pitkäaikaiselle yhteistyökumppanille Ari Taskiselle Insinööritoimisto Kari Kolari:sta.

Kiitokset haluan antaa myös ohjaaville opettajilleni rakennetekniikan yliopettajalle Arto Puurulalle, TkT ja lehtori Harry Dunkelille, DI.

Kiitokset haluan antaa myös perheelleni opintojeni aikana saamastani tuesta.

Kuopiossa

Teemu Nieminen

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tausta.....	8
1.1.1	Nykyaikainen maatalous .....	8
1.1.2	Maatalouden lietealtaat .....	9
1.2	Abaqus CAE.....	9
1.3	Luja-yhtiöt.....	10
1.3.1	Fescon Oy .....	10
1.3.2	Lujatalo Oy .....	10
1.3.3	Lujabetoni Oy .....	10
2	MARKKINOILLA OLEVIA MALLEJA .....	11
2.1	Betonielementti .....	11
2.2	Jälkijännitettybetonielementti .....	12
2.3	Kumiallas.....	13
3	JÄNNITETYT RAKENTEET .....	14
3.1	Historia .....	14
3.2	Jännittämismenetelmät .....	15
3.2.1	Esijännittäminen .....	15
3.2.2	Jälkijännittäminen .....	15
3.2.3	Käyttöseloste .....	16
3.3	Materiaalit .....	17
3.4	Jännittämistyön suoritus.....	17
3.4.1	Jännittäminen .....	18
4	UUDEN SÄILIÖN TEKOMENETELMÄ .....	19
4.1	Tausta.....	19
4.2	Rakenteen esittely .....	19
4.3	Säiliön rakentaminen.....	20
4.3.1	Elementin teknisiä tietoja.....	20
4.3.2	Työpiirustus.....	21
4.3.3	Varastointi .....	22
4.3.4	Pohjatyöt.....	23
4.3.5	Asennus .....	24

4.3.6	Jälkityöt.....	25
5	KUORMIEN MÄÄRITTELY.....	26
5.1	Pystykuormat .....	26
5.1.1	Omapaino.....	26
5.1.2	Lumikuormat .....	26
5.1.3	Hyötykuormat .....	27
5.2	Vaakakuormat .....	27
5.2.1	Tuulikuorma .....	27
5.2.2	Maanpaine.....	27
5.2.3	Nestepaine .....	27
5.2.4	Jännevoima .....	27
6	KUORMITUSYHDISTELMÄT .....	28
6.1	Murtorajatila .....	28
6.2	Käyttörajatila .....	29
6.3	Käytettävät kuormitusyhdistelmät .....	30
7	SÄILIÖN MITOITUS JA LASKELMAT .....	31
7.1	Rakennemalli .....	31
8	TUTKIMUS .....	32
8.1	Tausta.....	32
8.2	Mallintaminen .....	32
8.2.1	Elementti.....	32
8.2.2	Sauma.....	33
8.2.3	Asennus .....	33
8.2.4	Jännitystyö .....	33
9	TULOKSET .....	34
10	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	36

## MÄÄRITELMIÄ

### **Jännitetty betonirakenne (jännebetonirakenne)**

Rakenne, johon on aikaansaatu keinotekoinen puristusjännitystila, jonka ansiosta rakenne pysyy pääosin puristettuna ja halkeilemattomana ulkoisen kuorman vaikutuksesta.

### **Jännemenetelmä**

Jälkijännittämiseen tarvittavien laitteiden, materiaalien ja työmenetelmien kokonaisuus.

### **Esijännittäminen**

Jänneteräokset jännitetään kiinteää alustaa tai lujaa muottia vasten ennen betonin valua. Betonin kovettua riittävästi (=laukaisulujuus) jänneteräokset katkaistaan alustasta, jolloin ne siirtävät voimansa tartunnan avulla betoniin.

### **Jälkijännittäminen**

Jänneteräokset sijoitetaan rakenteeseen suojaputken sisään ja betonoidaan rakenne. Betonin saavutettua laukaisulujuus, jännitetään punokset rakennettavasten ja ankkuroidaan.

### **Tartuntajännebetonirakenne**

Punosten jännevoima siirretään betonirakenteeseen.

### **Jänneankkuri**

Kalusto jolla jänteeseen tehty jännevoima lukitaan

### **Rasvajänne**

Jännepunos, joka on muovisessa suojaputkessa suojarasvan ympäröimänä

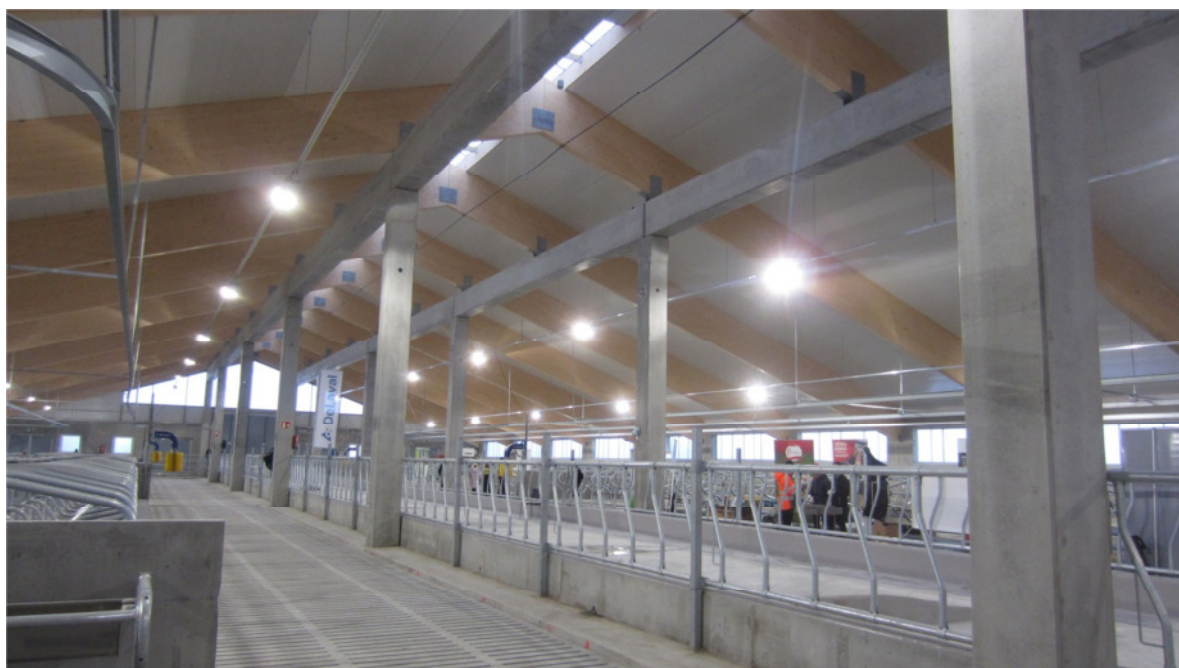
# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Insinööritö tehtiin Lujabetoni Oy:lle Siilinjärvelle. Työn taustalla oli maatalouden tilakokojen kasvun myötä lisääntynyt tarve suuremmille nestevarastoille eli maataloudessa kyseessä oleville lietalantasäiliöille. Työn tavoitteena oli suunnitella betoniteollisuuteen uudenlainen vakiotuote-elementtijärjestelmä, nesteen varastointia varten.

### 1.1.1 Nykyaikainen maatalous

Maatalouden rakennekehitys on ollut jo pitkään, siihen suuntaa että maatilojen määrä kappaleissa vähenee tasaisesti, mutta samalla eläinmäärät kasvavat keskittyen suuriin yksiköihin. Lypsykarjapuo-  
lella perinteiset parsinavetat ovat jääneet jo historiaan ja tilalle on tullut pihattoja. Pihatoissa etuna on se, että eläimet pääsevät liikkumaan vapaasti ja lypsyn hoitaa automatiikka, yleensä lypsyrrobotti. Tämän päivän tyypillinen maataloushanke (kuva 1) on suuruusluokkaa 3 000 - 4 000 neliometriä pohjan pinta-alaltaan. Tähän lisätään muut aputilat kuten rehuvarastot ja lietesäiliöt.



Kuva 1. Lujabetoni Oy:n toimittama, VH Tähtelä Oy 4000 neliön karjarakennus.

Nautakasvattamoissa rakennuksien toiminnallisia muutoksia ei niin radikaalisti ole tapahtunut. Rakennusten koko on kasvanut pää-asiallisesti siten, että rakennuksen poikkileikkaus on pysynyt samana mutta rakennuksen pituutta on jatkettu. Eläinmäärien lisääntyessä myös nautakasvattamoissa lietealtaat ja rehuvarastot ovat kasvaneet. Tyypillinen nykyaikainen nautakasvattamo on kokoluokkaa 1000 – 2000 m<sup>2</sup> pohjan pinta-alaltaan.



### 1.1.2 Maatalouden lietealtaat

Lietealtaat ovat pääsääntöisesti valmistettu betonielementtirakenteisina. Betonielementtirakenteisena lietealtaiden sallittu koko on ollut rajattuna suurimmillaan 2500 m<sup>3</sup>. Rajatun koon on asettanut maa- ja metsätalousministeriö ja menetelmään on pitänyt hakea ennakkohyväksyntä. Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen kyseisellä menetelmällä tehty Lujabetonin lietelantasäiliö.

Yli 2500m<sup>3</sup> säiliöissä on vaadittu erikoissuunnittelua mm. säiliön pannoittamista esim. jälkijännittämällä. Uusissa hankkeissa säiliöt ovat yhteensä jopa 6000 m<sup>3</sup>, jolloin säiliöitä on tehtävä useampia. Poikkeustapauksissa säiliö on voitu tehdä laajana maa-altaana, jossa on ollut kumipinnoite. Tätä menetelmää ei suositella epävarman vesitiiviyyden takia.



Kuva 2. Lujabetoni Oy:n tuotannossa olevat lietealtaat

### 1.2 Abaqus CAE

Työssä on käytetty apuna Abaqus 3d FEM (Finite Element Method) laskentaohjelmistoa. Ohjelmisto oli työn alkaessa kokonaan uusi työntekijälle ja tämän takia jouduttiin rajaamaan ohjelman käyttöä.

### 1.3 Luja-yhtiöt

Luja-yhtiöt on perheyritys jo kolmannessa polvessa. Rakennusallalla yli 60 vuotta osallisena, yhtiö perustettiin 16.11.1953. Nykyaikana Luja on yksi Suomen suurimmista rakennusalan konserneista. Liikevaihto on 434 M€ (2015) ja Lujalla työskentelee noin 1600 ammattilaista. Luja-yhtiöihin kuuluvat rakennusliike Lujatalo Oy, betoniteollisuusyritys Lujabetoni Oy ja kuivatuoteyritys Fescon Oy. Lujabetonilla on myös toimintaa Ruotsissa ja Venäjällä. ([www.luja.fi](http://www.luja.fi))

#### 1.3.1 Fescon Oy

Fescon Oy on rakennusalan kuivatuotteiden ja niihin liittyvien tuotteiden ja ratkaisujen kotimainen, kehittäjä, valmistaja ja markkinoija. Fescon sekä konsultoi ja opastaa asiakkaitaan tuotteiden valinnassa ja käytössä.

Fesconin päätuotteita ovat kuivalaastit ja -betonit, rappaus- ja korjauslaastit, julkisivupinnoitteet ja -maalit, seinä- ja lattiatasoitteet, lattiapinnoitteet, eristerappausjärjestelmät ja laatoitus- ja vedeneristystuotteet. ([www.luja.fi](http://www.luja.fi))

Fesconin kuivatuotteet valmistetaan pitkälle automatisoiduissa tehtaissa Hausjärvellä ja Haukiputaalla. Fesconin tuotantolaitokset sijaitsevat aivan Hyvinkään kupeessa Hausjärven Rauhanummella ja Oulun kupeessa Haukiputaan Kellossa. Yhtiön pääkonttori on Hyvinkäällä.

Fescon Oy on perustettu vuonna 1984 Siilinjärvellä ja sen juuret ovat Lujabetonin tuotekehitystoiminnassa. Aluksi Fesconin tuotekehityksessä keskityttiin erilaisten valmis- ja kuivabetonien kehittämiseen. Tämän jälkeen Fesconin tehtaas Hausjärvellä ovat lisääntyneet vielä monella uudella tehtaalla ja pääkonttorikin siirtyi 90-luvun alussa Siilinjärveltä Hyvinkäälle. ([www.luja.fi](http://www.luja.fi))  
Liikevaihto: 16,2 M€ (2015) ja henkilöstömäärä on keskimäärin 56 henkilöä.

#### 1.3.2 Lujatalo Oy

Lujatalon alueyksiköt palvelevat rakentaen kautta Suomen. Uudenmaan, Hämeen, Lahden, Pirkanmaan, Kaakkois-Suomen, Itä- ja Keski-Suomen, Pohjanmaan sekä Pohjois-Suomen toiminta-alueilla on käynnissä noin 120 rakennustyömaata vuodessa, uudisrakentamista sekä saneerausta. Lujatalon liikevaihto on 312,7 M€ ja henkilöstöä on n. 900. ([www.luja.fi](http://www.luja.fi))

#### 1.3.3 Lujabetoni Oy

Lujabetoni Oy on betoniteollisuusyritys Suomessa. Lujabetoni toimii lähes kaikkessa betonielementti sekä valmisbetoni rakentamisessa mukana.

Liikevaihto on 129 miljoonaa euroa ja henkilöstöä työskentelee yhteensä n. 640 työntekijää, 26 paikkakunnalla Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. ([www.luja.fi](http://www.luja.fi))

## 2 MARKKINOILLA OLEVIA MALLEJA

Tässä luvussa kerrotaan jo markkinoilla olevia Lujabetonin omia sekä kilpailijoiden menetelmiä, siitä miten maatalouden lietteenvarastointi on toteutettu.

Säiliöt voidaan jakaa kolmeen ryhmään

1. Betonielementtirakenteinen
2. Jälkijännitettybetonielementti
3. Kumiallas.

### 2.1 Betonielementti

Teräsbetoninen seinäelementti on tyypillisin ja eniten käytetty malli tehdä lietealtasäiliö kuva 3. Säiliö on tehty pystymallisista levymäisistä elementeistä, jotka on asennettu ympyrän muotoiseksi renkaaksi asentamalla elementit vierekkäin ja valettu pohjalaatta osittain jäykästi kiinni olevaksi liitokseksi seinään kiinni. Elementit on sidottu teräslenkein saumoista toisiinsa ja saumat on juotosvalettu kutistumattomalla juotosmassalla yhteen. Tämä menetelmä on ollut jo 80-luvulta asti käytössä ja edelleenkin toimiva, turvallinen ja kustannustehokas ratkaisu pienempiin alle 2500 kuution säiliöihin.



Kuva 3. Lujabetoni Oy:n neljä metriä korkeita lietealtaan elementtejä.



Maa- ja metsätalousministeriön määräysten mukaan yli 2500 kuution säiliöitä tehtäessä tulee kaikkien saumakohtien olla puristetussa tilassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ”normaalilla” elementeillä tähän ei päästä, vaan säiliön ympärille on tehtävä panta esim. jälkijännittämällä säiliö ympärille asennettavilla jännepunoksilla. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje).

## 2.2 Jälkijännitettybetonielementti

Markkinoilla esiintyy tässä työssä tutkittavan mallin tapaista menetelmää, joka on tehty kuitenkin hieman eri tekniikalla. Suomessa ei vielä ole yhtään valmistajaa, joka tekisi jälkijännitystekniikalla säiliöitä, vaan mallit ovat ulkomaantuonteja yleensä baltian alueelta, kuva 4. Näissä malleissa elementit ovat teräsbetonielementtejä, joissa on kansi ja vaakasuuntaiset rivat. Ripojen vieressä on va-raukset, joihin jännepunosvaijerit asennetaan.

Säiliö kasataan perinteisestä mallista eroten siten, että ensin on valettu pohjalaatta, jonka päälle asennetaan levymäiset elementit pystyyn. Elementit kiristetään punosvaijereilla toisiinsa ja sauma valetaan raudoittamattomana umpeen. Jännepunokset kiristetään lopulliseen jännevoimaansa kunnes saumat ovat kuivuneet riittävästi. Näissä malleissa jännepunokset ovat valmiissa rakenteessa näkyvillä ja näin ollen altistuvat mekaaniselle rasitukselle esimerkiksi säiliön ympärystäyttöä tehtäessä.



Kuva 4. Ulkomailta tuotuja elementtejä asennettuna valmiissa rakenteessa.

## 2.3 Kumiallas

Kumiallas malli on markkinoilla oleva vaihtoehto tehdä lietteelle varastointipaikka ilman betonisia elementtejä. Allas tehdään käytännössä maamuokkauksella siten, että kaivanto tehdään yleensä nelikulmaiseksi varastointi tarpeen koon mukaan, kuva 5. Kaivanto muotoillaan tarkasti ja luiskataan reunoilta, luiskat on tiivistettävä ja kaivettava erittäin huolella. Pohjassa käytetään kumikalvoa ja tiivistyskelmua kumikalvon saumoissa. Maa- ja metsätalousministeriö on antanut ennakkohyväksynnän kahdelle tiivistyskelmutuotteelle ([www.jukuri.juke.fi](http://www.jukuri.juke.fi) ja [www.mmm.fi](http://www.mmm.fi))

Tämä varastointi menetelmä on ollut aiemmin erityisen tarkkailun alla, koska maapohjat eivät ole Suomen pakkasolosuhteissa samalaiset kuin ulkomailla ilman pakkasrasitusta. Lisäksi altaan rakentamisen ohjeissa on ollut puutteita. Nykyisin maa- ja metsätalousministeriö on antanut ennakkohyväksynnän myös kumialtaille, kun ne varustetaan vuotojen tarkkailujärjestelmällä. ([www.jukuri.juke.fi](http://www.jukuri.juke.fi) ja [www.mmm.fi](http://www.mmm.fi))



Kuva 5. Kumipinnoitteella toteutettu lietevarasto. (Kuva Ulvilan pumppupalvelu)

### 3 JÄNNITETYT RAKENTEET

Tässä luvussa kerrotaan jännebetonirakenteiden historiasta ja kehityksestä nykypäivään. Lisäksi kerrotaan jännitysmenetelmistä ja välineistä.

#### 3.1 Historia

Nykytiedon mukaan jännebetonirakentamiseen suunniteltu jännittämissovellus arvioidaan olevan jo 1886 vuodelta. Sovelluksen kehitti kalifornialainen insinööri P.H. Jackson joka sai patentin teräslankojen kiristysmenetelmään. Tässä menetelmässä betonikappaleita oli puristettu yhteen jolloin muodostui puristuskaaria. Vuonna 1888 saksalainen C.E.W. Doehring kehitti menetelmän, johon hän sai myös patentin betonilaattojen jännittämistä teräslankojen avulla.

Nämä menetelmät eivät kuitenkaan soveltuneet suuremmille markkinoille, koska betonin ja terästen lujuusominaisuudet ja pitkäaikaisominaisuudet eivät olleet riittävät jännitysmenetelmän käyttöön. Lisäksi virumisen ja kutistuman vuoksi jännitys heikkeni hyvinkin nopeasti. Tästä alkoikin erilaiset tutkimukset siitä miten jännityshäviöt käyttäytyvät.

Nykyaikaisen jännitysmenetelmän oivallus sai juurensa 1920-luvulta, jolloin ranskalainen insinööri E. Freyssinet oivalsi jännityshäviöiden merkityksen ja luonteen. Hän esitti ratkaisun jännityshäviöiden hallitsemiseen ja oivalsi että jännevoiman säilyminen edellyttää korkealujuuksisia jänneteräksiä sekä niissä suuria pituudenmuutoksia. Freyssinet esittikin ensimmäisen tehokkaan jännitysmenetelmän 1940-luvulla ja tämä 12-lankainen kiila-ankkuroiva jännemenetelmä on käytössä vielä tänäpäivänäkin, tosin lankojen määrä on vakioitunut 7 kappaleeseen.

Vuosien 1940-1950 välillä tapahtuikin merkittävä kehitys Eurooppalaisessa jännebetonirakentamisessa. Suomessa aloitettiin jännitettyjen rakenteiden käyttö 1950-luvulla ja ensimmäinen elementistä tehty välipohja on Porthanian talossa Helsingissä. Ankkurijännerakenne yleistyi 1960-luvun vaihteessa, Suomen ensimmäinen silta toteutettiin tällä menetelmällä vuonna 1959. Elementtirakentamisessa, etenkin ontelolaattojen yleistyessä 1970-luvulla lisääntyi myös jänneterästen käyttö Suomessa.

Elementtiteollisuudessa 1970-luvulta alkaen on siirrytty tasaisesti yhä enemmän käyttämään jännitettyjä rakenteita sen kustannustehokkuuden takia mm. ontelo ja TT-laattojen tehokkuuden takia. Jännerakenteiden käyttö on myös tehokasta vaakasuuntaisissa runkorakenteissa eli erilaisissa palkeissa. Palkkeja käytetään niin välipohjan kuin yläpohjan tukirakenteena ja nykyaikana suurin osa palkeista tehdäänkin esijännitettyinä. Esijännittämisen etuna on mm. kevyemmät rakenteet, pidemmät jännevälit, pienempi materiaalimenekki, pienemmät taipumat, vähemmän halkeilua ja parempi laatu sekä säilyvyys.

(Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 BY 210 s. 622)

### 3.2 Jännittämismenetelmät

Edellisessä kappaleessa mainittu nykyaikainen jännitystekniikka jaetaan kahteen pääryhmään. Ensimmäinen on esijännitetyt rakenteet ja toinen on jälkijännitetyt rakenteet. Jako voidaan myös tehdä sen perusteella miten jännevoima siirretään rakenteeseen, joko tartunnan tai ankkureiden avulla. Jälkimmäisestä on ankkurijännesovellus, joka on tartunnaton jänne ns. rasvajänne. Tätä menetelmää käytetään tässä työssä tutkittavan säiliön laskennassa.

#### 3.2.1 Esijännittäminen

Esijännittäminen tarkoittaa nimensä mukaan terästen jännittämistä ennen betonointia. Tässä menetelmässä jännitettävät teräket, joko punokset tai langat, asennetaan muottiin tai jännityspukkiin. Teräksiin vedetään ennakoon suunniteltu jännitys ja betoni valetaan terästen ympärille. Betonin saavutettua suunniteltu laukaisulujuus, jännevoima vapautetaan pukeista. Betonitarttuu teräksiin estäen teräksen vapaan lyhenemisen ja näin betoniin muodostuu puristusjännitystila.

Jännityspukeista toinen pää on passiivinen ja toinen aktiivinen. Jännitys tapahtuu jännityspukkien kohdalta vedettävillä hydraulisilla tunkeilla, jolloin teräksiin saadaan jännevoima. Jännitys lukitaan suunnitellun venymän saavutettua kartiokiila-ankkureilla. Ankkurit ovat molemmissa menetelmissä samanlaisia.

Esijännitettyjä rakenteita käytetään elementtiteollisuudessa vain tehdasolosuhteissa, elementtien valmistuksessa. Jännelangat ovat halkaisijaltaan 6,3 mm. Punokset ovat 7-lankaisia nimellishalkaisijaltaan 9,3mm 12,5 tai 12,9 mm. Tartuntaominaisuuksia parannetaan langan kuvioinnilla ja kierteällä langan profiili monikulmion muotoon.

#### 3.2.2 Jälkijännittäminen

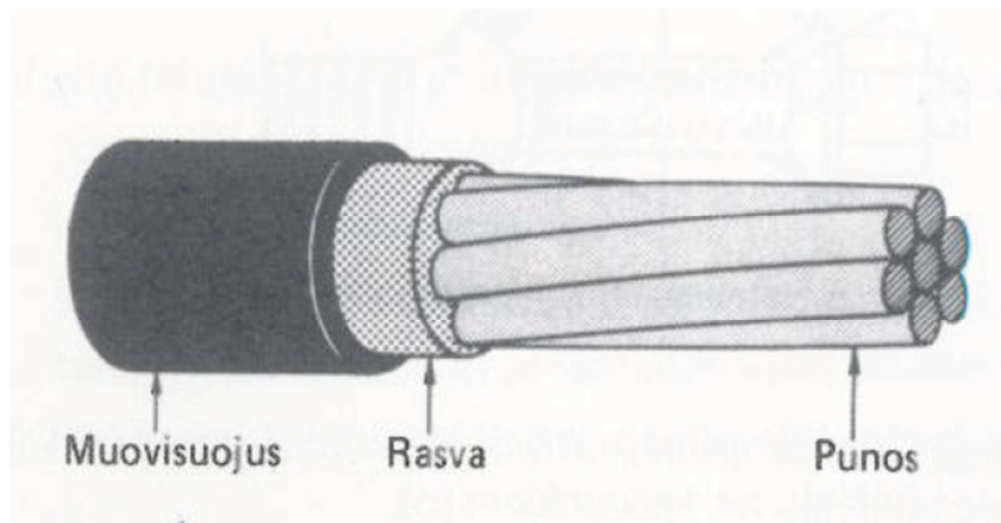
Jälkijännittämismenetelmässä jänneet ankkuroidaan valmiiksi kovettuneeseen betonirakenteeseen ja jännitetään. Jänneiden ympärillä käytetään suojaputkea joko metallista tai muovista. Suojaputkessa on joko riittävästi tilaa jänneen liikkumista varten tai rasva, jossa jännepunos pääsee liukumaan vapaasti jännittämisen aikana.

Jälkijännittämistä voi käyttää myös elementtiteollisuudessa, mutta se on harvinaista. Rakenteen pääasiallinen käyttö on työmaalla paikallavaletuissa suurissa rakennuskohteissa, kuten silloissa ja parkkihallien autokansissa.

Jännitystyö tapahtuu jännitykseen tarkoitetuilla hydraulikkatunkeilla sekä ankkureilla. Tässä menetelmässä on aina käytettävä päätyankkureita ja toiselta nimeltään puhutaankin ankkurijännerakenteesta. Ankkurit ovat toisessa päässä aktiivisia ja toisessa päässä passiivisia ja ne ovat yleensä valurautaisia.

Jännityksen jälkeen suojaputket joko täytetään joutoslaastilla tai jätetään suojarasvan sisään, riippuen suunnitellusta rakenteesta/metelmästä. Joutoslaastilla täytetyssä menetelmässä tartunta syntyy laastin avulla jänteen ja betonirakenteen välillä. Suojarasvalla täytetyssä ratkaisussa jännevoima vaikuttaa suoraan rakenteeseen vain ankkureissa.

Sovelletussa ns. rasvajännemenetelmässä jänneet on sijoitettu muovisen suojaputken sisään ja putki on täytetty suojaavalla rasvalla, kuva 6. Jänneet voidaan asentaa suoraan valuun tai valun ulkopuolella ilman erillistä suojaputkea. Jännitystyö tehdään sen jälkeen, kunnes betoni on saavuttanut suunniteltu lujuuteensa. Jänneet on siis ympäröitynä rasvakerroksessa, jonka ansiosta kitka on pieni ja korroosiosuoja on valmiina.



Kuva 6. Rasvajänne

### 3.2.3 Käyttöseloste

Käytettävästä jännemenetelmästä on aina tehtävä käyttöseloste josta tulee ilmetä vähintään seuraavat asiat:

- Jännteistä
  - o Poikkileikkausmitat
  - o Teräslaatu
  - o Jännevoima
  - o Tukemistapa
  - o Jatkokset
  - o Suojaputket
- Ankkureista
  - o Rakenne
  - o Materiaali
  - o Toimintaperiaate
  - o Sijoittaminen
  - o Suojaaminen
- Jännittämistyöstä
- Injektoinnista



### 3.3 Materiaalit

Jännittetyissä betonirakenteissa käytetään aina korkealujuuksisia betoneita. Rakenneluokka on 1 ja lujuus vähintään C30 betonia. Tärkein materiaalin ero tavalliseen teräsbetonirakenteeseen syntyy teräksistä. Jännebetonirakenteissa käytetään aina korkealujuusteräksiä, koska tavallisissa rakenneteräksissä jännitys häviää betonin kutistumis- ja virumisominaisuuksien johdosta. Tavallisia betoniterästankoja käytetään lisänä mm. hakasina ja lisäraudoitteina.

Materiaaleista oleellisia on myös ankkurit, joilla esi- tai jälkijännitetyt teräkset lukitaan. Ankkureita on erilaisia ja ne valitaan käytettävän menetelmän mukaan. Tavallisimmin lukituksen lukitusmenetelmänä on käytössä kierre ja mutteri sekä erilaisia kiiloja. Alla esitetyssä kuvassa on ”kelluva” ankuri, kuva 7, joka on tässä opinnäytetyössä käytettävä menetelmä.



Kuva 7. Dywidag ankuri

Käytettäessä ankkurijännemenetelmää tarvitaan jänseille suojaputkia. Tavallisille jänseille käytetään teräspeltiputkea ja rasvajänseille muovisia suojaputkia. Suojaputkia injektoitaessa käytetään injektioitaasteja täyttämään ankkurijänneiden putket, poislukien rasvajänteet.

### 3.4 Jännittämistyön suoritus

Jokaisesta jännittämistyöstä on tehtävä jännittämissuunnitelma. Jännittämissuunnitelman tekee jännitystyöstä vastaava yhdessä suunnittelijan kanssa. Jännittämissuunnitelmasta selviää vähintään seuraavat asiat:

- Käytettävän menetelmän kuvaus
- Jännittämisvoima ja venymät
- Jännittämisjärjestys ja jännevoiman siirtotapa
- Betoninlujuusluokka ja jännittämisen aikaiset lujuusvaatimukset
- Ankkurointi-tiliukset

Ankkurijännemenetelmässä on lisäksi muotin tukirakenteen säädön ja purkamisen ohjeet sekä jänneiden asennuspiirustus.

### 3.4.1 Jännittäminen

Jännitetyt rakenteet ovat aina 1- luokan rakenteita. Tästä johtuen työtä johtaa 1- luokan betonityön-johtaja, jonka on tunnettava käytössä oleva menetelmä. Kaikki toleranssit ovat 1- luokan mukaan määriteltyjä, kuten esimerkiksi mittapoikkeamat. Jännittämisestä syntyvät jännitykset ovat suurimmillaan ankkurin läheisyydessä, joten ankkureiden asema on tarkistettava erityisen huolellisesti. Tässä opinnäytetyössä käytettävän ”kelluvan ankkurin” kohdalla on jännitys myös suurimmillaan ja vastaavasti jännityskohdan vastakkaisella puolella eli säiliön toisella puolella pienimmillään. Eri jännittemenetelmien käyttöselosteissa löytyy ohjeet ankkureiden vaatimasta lisäraudoituksesta ja ankkureiden asennustoleransseista.

Varsinainen jännitystyö voidaan aloittaa, kun betoni on saavuttanut tarvittavan laukaisu / jännittämislajuuden. Ennen jännittämistä rakenne on tarkistettava mahdollisten betonointivirheiden varalta. Työssä käytettävässä menetelmässä elementit ovat saavuttaneet jo tehtaalla tarvittavan lujuuden ja tarkastelu kohdistuu elementtien saumoihin.

Jännitystyöhön kuuluvan kaluston oleellisin väline on hydraulinen tunkki, jolla jännitetään jän-teisiin tarvittava jännevoima. Paine tunkkiin kehitetään korkeapainepumpulla ja tunkki valitaan sen mukaan mitä menetelmää käytetään. Yleensä tunkkeissa on ominaisuus, jonka avulla ankkurit lukitaan kiinni. Tästä johtuen tunkit rakennetaan aina tiettyä menetelmää varten. Kalustoon kuuluu myös mittauslaitteet, joilla mitataan jännevoima (dynometri) ja liukumat esim. mittatikun avulla. Jännityskalusto täytyy olla kalibroitu säännöllisesti. Lisäksi mikäli suunnitellun jännevoiman aiheuttamia venymiä ei saavuteta, tehdään uusi jännityssuunnitelma. Venymät voi jäädä laskettua pienemmiksi esim. ruostuneiden punosten suurentuneen kitkan vuoksi.

Jännepunokset jännitetään suunnitellussa järjestyksessä ja näin vältetään haitallisia jännitystiloja. Yksittäisille jän-teille sallitaan enintään 5 % jännevoiman poikkeama ja koko jännityskohteen yhteenlaskettu voima saa poiketa suunnitellusta 3 %. Jännitystyöstä tehdään aina pöytäkirja jännevoimien suuruuksista ja jännittämisvaiheista sekä kimmoisesta venymästä. Lisäksi pöytäkirjaan merkitään jännittämiseen vaikuttavat tarpeelliset havainnot mm. lämpötila, jän-teiden liukumat tai katkeamiset, poikkeavat kitkan vaikutukset ja ankkureiden liukumat. Ankkurijännerakenteiden injektoinnista tehdään myös pöytäkirja.

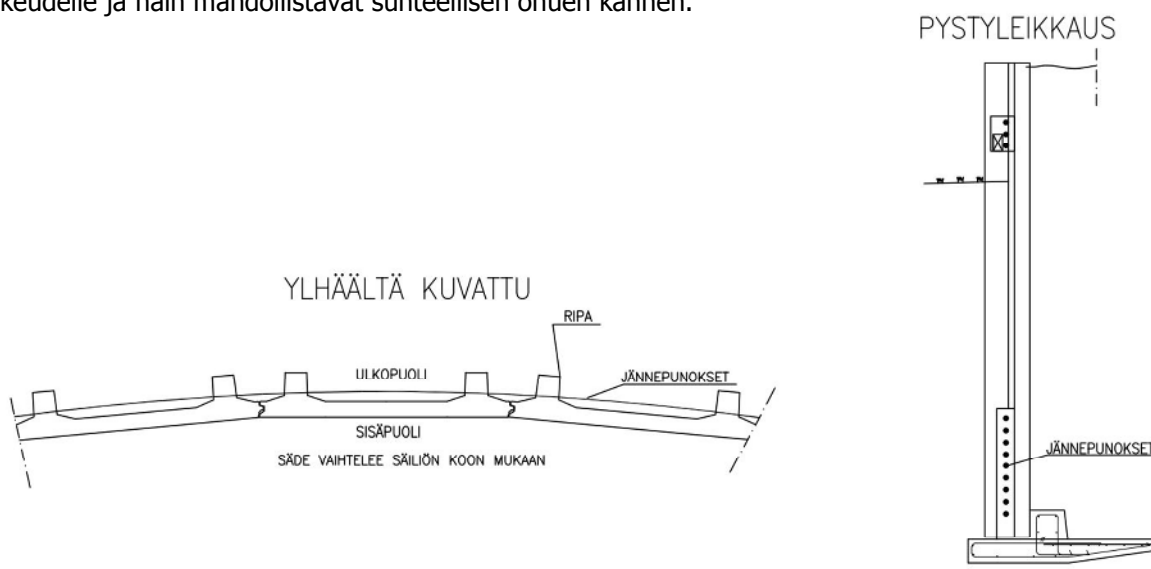
## 4 UUDEN SÄILIÖN TEKOMETELMÄ

### 4.1 Tausta

Lujabetonilla tehdään jatkuvaa kehitystyötä asiakkaiden tarpeiden mukaan ja viimevuosien kysynnästä johtuen ilmeni tarve uudelle elementille, sarjatuotantoa varten. Elementti on ensimmäinen suomalaisten tekemä jälkijännitetty elementti kokonaisratkaisultaan. Elementin käyttötarkoitus on varastoida nesteitä ja ideana on hyödyntää jo olemassa olevaa muottikalustoa elementin valmistuksessa. Tätä työmenetelmää varten Lujabetoni Oy on hakenut ja saanut patentti – ja rekisterihallitukselta hyödyllisyysmallisuojaan (Hyödyllisyysmallihakemus U20154117 - Suomi – LIETELANTÄSÄILIÖ - Lujabetoni Oy).

### 4.2 Rakenteen esittely

Uudenmalliseen lietesäiliön kokonaisuuteen kuuluu paikallavalettava pohjalaatta, pohjalaatan päällä asennetaan säiliön koon mukaan vierekkäisiä ja toisiinsa tiiviisti liitettyjä betoniseinäelementtejä, jotka muodostavat suljetun ympyrän muotoisen kehän sekä kehää kiertävät jälkijännitetyt punokset kuva 8. Seinäelementit ovat pystysuuntaisia esijännitettyjä elementtejä, joissa kansi on lietesäiliön sisäänpäin ja pystysuuntaiset rivat tulevat ulospäin. Rivoissa on samalla korkeudella vaakasuuntaiset reiät, joiden läpi valmiin rakenteen kiertävät punokset kiristetään paikalleen ottamaan vastaan se paine, minkä säiliössä oleva neste aiheuttaa ulospäin. Elementtien sisäpuoli on sileä ja tasainen ja näin vierekkäiset elementit muodostavat säiliön tasaisen sisäpinnan. Ulkopinnalla olevat pystysuuntaiset rivat jokaisessa seinäelementissä muodostavat pystysuuntaiset jäykisteet elementin koko korkeudelle ja näin mahdollistavat suhteellisen ohuen kannen.



Kuva 8. Säiliön perusrakenne

Ripoihin tehdään useita pystysuunnassa sopivan etäisyyden päässä toisistaan olevia vaakasuuntaisia reikiä. Kun jokaisessa elementissä ja niiden molemmissa rivoissa on vastaavat reiät, voidaan elementit kiristää ja lukita toisiinsa usealla punoksella. Reikien määrä tai tiheys on vaihteleva korkeussuunnassa niin, että elementin alapäässä on vierekkäin useita punoksia ja yläpäässä myös useita

punoksia ja mahdollisesti keskialueilla vain muutamia punoksia. Punosten määrä ja sijainti riippuu siitä miten suuri säiliö rakennetaan ja valitaan siten, että sauma on jatkuvasti puristuksessa.

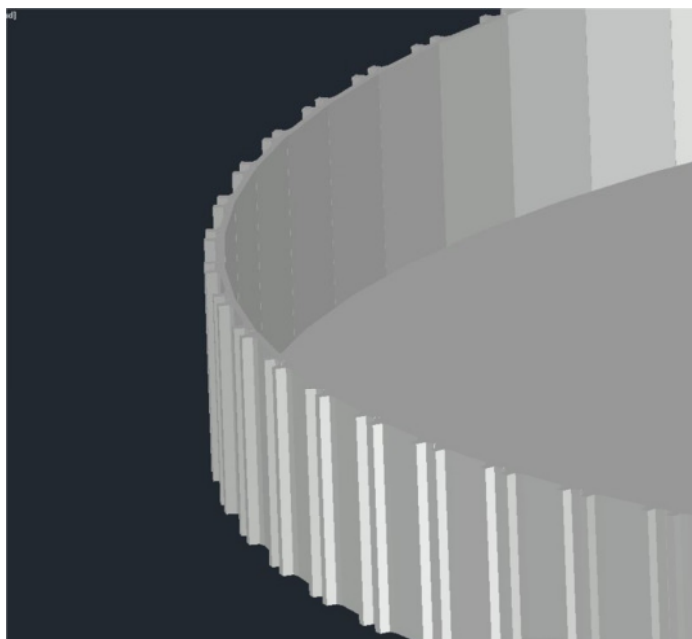
Vaakasuuuntaisiin reikiin tehdään tehtaalla valmiiksi vahvike, kuten putkitus, joka takaa reiän ympärillä olevan betonivalun kestävyys ja murtumattomuuden säiliön ympärille punoksia jännitettäessä. Kannen pystysuuntaisissa reunoissa on liitosurat, jotka kahdessa vastakkain asetettavassa elementissä muodostavat saumatilan. Näin vierekkäin asennetut ja toisiinsa punoksilla puristetut elementit ovat liitettävissä tiiviisti toisiinsa täyttämällä saumatila juotosbetonilla. Vastakkaisissa reunoissa käytetään uros / naarasponttirakennetta sekä tarvittaessa erilaisia saumanauhoja ja muita erillisiä tiivistäjiä, joilla seinäelementtien väliset pystysaumot saadaan tiiviiksi mahdollisten mittaheittojen varalta.

Seinäelementin vaakasuuuntainen poikkileikkausprofiili on vakio seinäelementin koko korkeudella. Punoksia varten tehty vaakasuuuntaiset reiät rivoissa on sijoitettu sopivasti rivan juureen eli kannen ulospäin olevan pinnan välittömään läheisyyteen. Vaijerit suojataan jälkivalulla mekaanista rasitusta vastaan ja näin rakenteesta saadaan turvallinen.

### 4.3 Säiliön rakentaminen

#### 4.3.1 Elementin teknisiä tietoja

Elementin tunnus on TANK1 ja sitä valmistetaan samanlaisena vakioelementtinä. Valmis elementti on kooltaan 2150mm leveä ja 4000mm korkea paksuus vaihtelee poikkileikkauksen mukaan välillä 130mm...380mm, kuva 9. Yksittäinen elementti painaa n. 3820kg / kpl. Elementin raudoituksessa käytetään sekä esijännitettyä tartuntajännepunoksia että vakioterästä (A500HW) ja verkkoja (B500K). Säiliön ympärillä olevat jännepunokset ovat ”rasvapunoksia” eli jälkijännitettyjä tartunnattomia jänneteräksiä. Kuva 9 havainnollistaa asennettuja elementtejä.



Kuva 9. 3d kuva elementtejä vierekkäin.

#### 4.3.2 Työpiirustus

Alla on esitetty työpiirustus elementin valmistusta varten, kuva 10.

Työpiirustuksesta esitetään kaikki oleelliset mitat ja materiaalit mitä elementin valmistus vaatii.

Kuva 10. Elementin työpiirustus SALATTU!

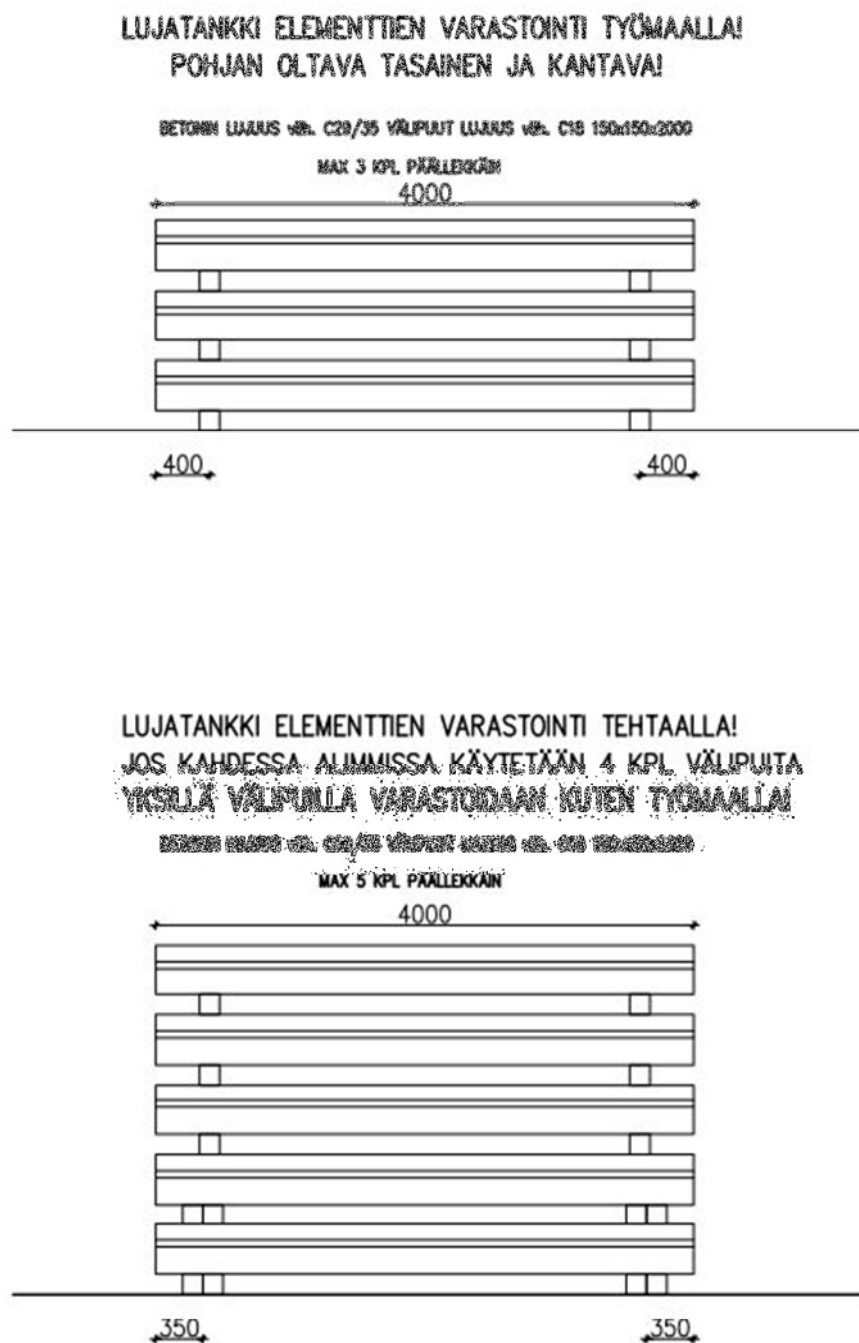
Työpiirustuksessa on esitetty seuraavat asiat.

- Elementin koko ja poikkileikkaus
- Jännepunosten määrä ja jännevoima
- Raudoituksen määrät
  - o Kannen verkkorauditus
  - o Ripojen rauditus
  - o Lisäksi valmiin rakenteen pohjalaatan liitoksen rauditus
- Putikitukset ulkopuolisia rasvapunoksia varten
- Tartunta levyt ja nosto osat elementin asennusaikaista tukemista varten
- Nosto elimet muotista irroitukseen punoslenkit ja asentamiseen RD ankkurit
- Pystysauman tiivistystä varten nauha

### 4.3.3 Varastointi

Elementit varastoidaan tehtaalla vaakatasossa enintään viiden elementin nipuissa päällekkäin, kuva 11. Elementtien väliin laitetaan, joko aluslevyt tai aluspuut lisäksi välituet on oltava samalla pystylinjalla. Toinen vaihtoehto on pystyssäilytys elementtien varastointiin tarkoitettussa seinätelineessä esimerkiksi elementtipukissa.

Mikäli elementtejä tarvitsee väliavarastoida työmaalla, suositellaan enintään kolmen elementin nipputa johtuen työmaanpohjan olosuhteista. Pystyssä säilytyksessä menetellään samoin kuin tehtaalla varastoinnissa.



Kuva 11. Elementtien varastointiohje

#### 4.3.4 Pohjatyöt

Säiliön pohjan rakennustyön suorittaa tilaaja tai tilaajan urakoitsija (tässä työssä puhutaan jatkossa yleisesti tilaajasta). Aluksi pintamaa poistetaan reilusti yli säiliöpohjan halkaisijan mittaan verrattuna. Pohjan kaivussyvyys määräytyy maaperän ominaisuuksista sekä käyttökohteen toiminnallisesta suunnitelmasta. Routiva perusmaa on poistettava ja täytetään kerroksittain soralla huolellisesti veden kanssa tiivistäen. Säiliötä ei saa perustaa suoraan kallion varaan vaan väliin on laitettava täyttöä vähintään 200mm sekä pohja on salaojitettava erillisen suunnitelman mukaan.

Maapohjan kantavuus on varmistettava mielellään pohjatutkimuksella tai koekuopilla. Maapohjan epätasaisesta koostumuksesta johtuvia painumia ei sallita. Mikäli rakennuskohteessa on muita normaalista poikkeavia olosuhteita, esimerkiksi löyhä maaperä tai kallio, niin pohjatyöt tehdään tarpeen mukaan erillisen suunnitelman mukaan.

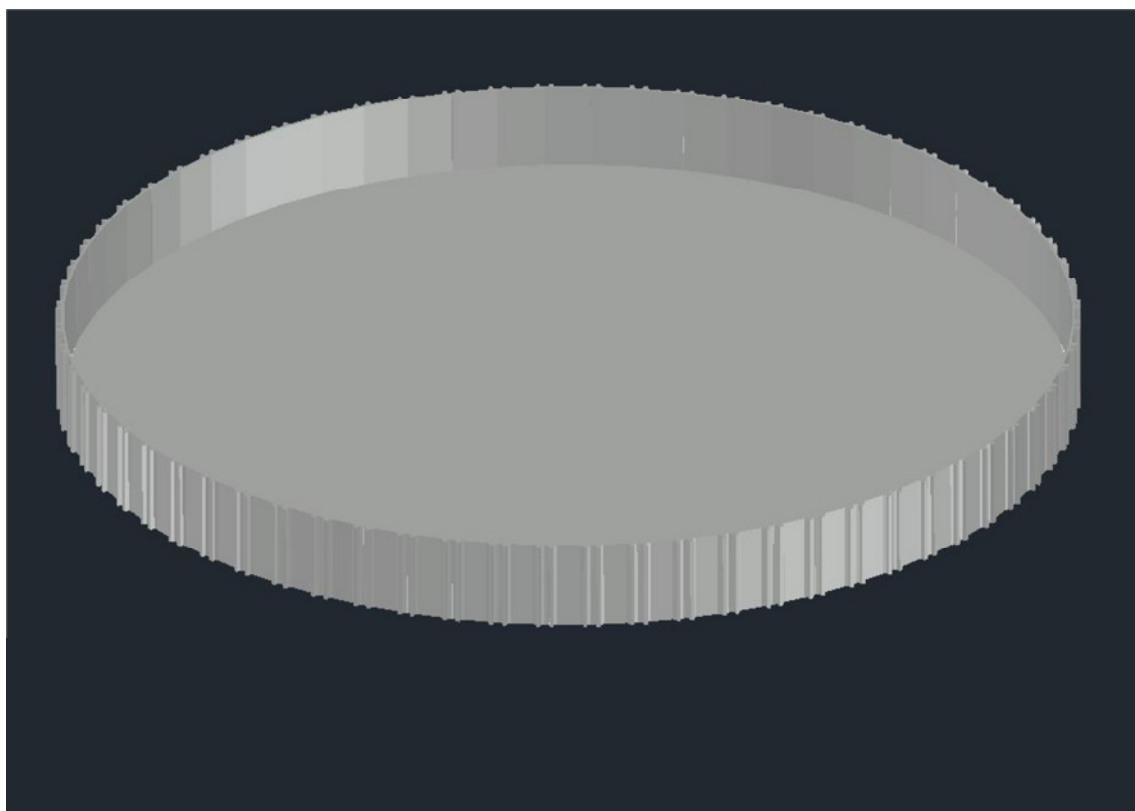
Pohjalaatan valussa on huomioitava säiliön tyhjennykseen tarvittava pumppauskohta. Laattaan tehdään sopivat kallistukset sen mukaan mihin kohtaan tyhjennys on suunniteltu. Säiliön pohjalaatassa on käytettävä vähintään alla olevan luettelon mukaisia **vähimmäisarvoja**:

- Valmiin pohjalaatan paksuus 120mm
- Raudoituksena käytetään keskeistä verkkoa #6-150 laadultaan B500K
- Betonin on oltava vesitiivistä C35/45-2 (notkeus 2...3 sVB)
- Betonin rasitusluokka XC2 + XF3 + XA1

Riippuen pohjanolosuhteista, tarvittaessa raudoituksen ja laatan paksuuden arvoja korjataan vastaavasti erillisen suunnitelman mukaan. Lisäksi tilaajan on huolehdittava, että työmaatiet ovat asianmukaiset nosturi ja kuljetuskalustolle.

#### 4.3.5 Asennus

Elementit asennetaan autonosturilla Lujabetonin aliurakoitsijan toimesta. Elementtien käsittely ja nosto tapahtuu ainoastaan merkityistä nostolenkeistä. Asennuksen aikana elementit tuetaan asennuksen ajaksi, joka toisen elementin kohdalla rakennesuunnitelmien mukaan. Ennen asentamista pohja mitataan tarkasti paikoilleen siten, että säiliöstä tulee pyöreä. Ensimmäinen elementti tuetaan ja viereiset hitsataan asennusaikaisista kiinnikkeistä toisiinsa, asennuksen edetessä tarkistusmitataan säiliön säde/halkaisija vähintään joka toisen elementin kohdalla. Säiliön rakentamisesta on selostettu tarkemmin rakennustapaselosteessa liite 1.



Kuva 12. 3d kuva lietesäiliöstä

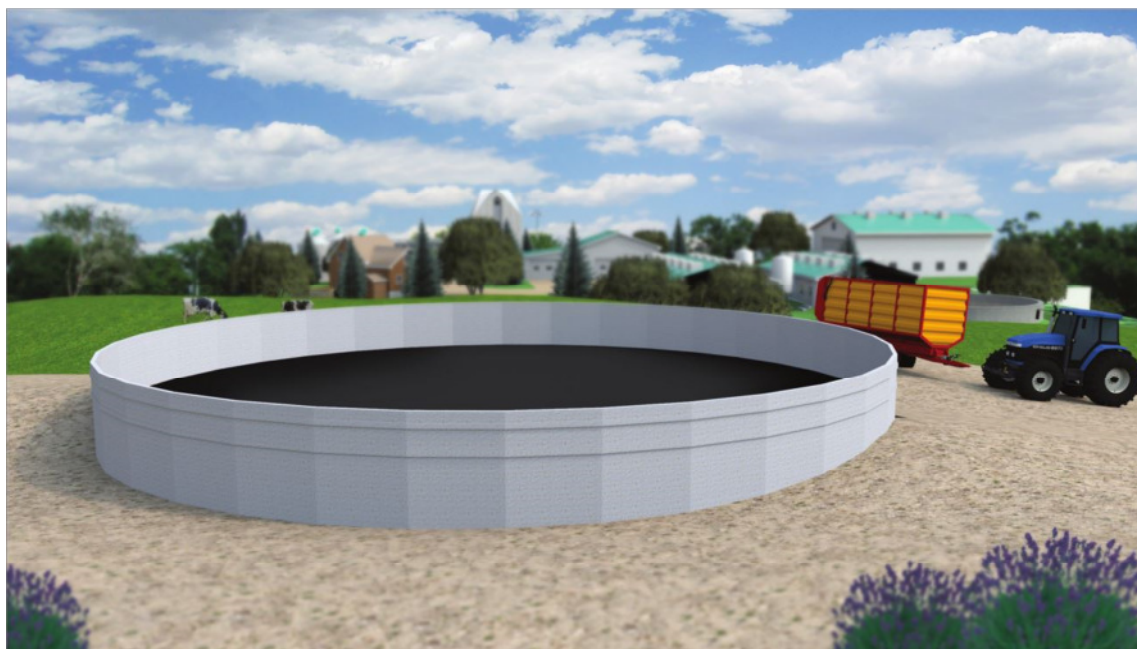


#### 4.3.6 Jälkityöt

Säiliön jälkirakennustyöt jakautuvat tilaajan ja Lujabetonin aliurakoitsijoiden kesken vaiheittain. Elementtien asennuksen jälkeen tilaaja valaa säiliön pystysaumot. Pystysaumot on suunniteltu siten, että vinotuet voidaan poistaa saumojen lujittumisen jälkeen.

Lujabetonin aliurakoitsija tekee tämän jälkeen jännepunosten asennuksen sekä jännittää punokset suunniteltuun alkujännitykseen. Tässä yhteydessä pystysaumot puristuvat kauttaaltaan tiiviiksi rakenteeksi.

Tilaaja suorittaa tämän jälkeen punosten suojaamisen mekaanista rasitusta vastaan valamalla punoksien ympärille kotelon rakennesuunnitelmien mukaan. Lisäksi säiliön sisäpuolelle valetaan tiivistysvalu elementin alareunan vesitiiviiden takaamiseksi.



Kuva 13. 3d havainnekuva altaasta

## 5 KUORMIEN MÄÄRITTELY

Suunniteltavaan rakenteeseen kohdistuvat kuormat on tunnettava tarkasti, jotta rakennukselle voidaan määrittää stabiilitteetti eli vakavuus. Kuormat määritellään RIL 201-1-2008 mukaan.

### 5.1 Pystykuormat

Säiliötä ei ole suunniteltu katettavaksi, joten pystysuuntaista kuormaa ei varsinaisesti elementin yläpäässä esiinny.

#### 5.1.1 Omapaino

Omapaino tarkoittaa nimensä mukaisesti rakenteiden omia todellisia painoja ilman varmuuskertoimia. Omapaino luokitellaan tavanomaisissa tilanteissa pysyväksi ja kiinteäksi kuormaksi. Erikoistapauksissa omapaino voi esiintyä lisähyötykuormana esim. siirrettävissä väliseinissä, mutta näitä tilanteita ei nestesäiliöissä esiinny. /4, s. 59./

#### 5.1.2 Lumikuormat

Lumikuorma käsitellään muuttuvana kiinteänä kuormana. Lumikuorman ominaisarvo määräytyy eri puolella Suomea erisuuruisena (kuva 14). Lisäksi mitoittavaan lumikuormaan vaikuttaa lumen muotokerroin, tuulensuojakerroin ja lämpökerroin. Säiliö rakenteen yhteydessä käytettävä lumikuorma määritellään alla olevan kuvan mukaisesti. Lumikuorma ei siis ole kattokuormana, koska säiliötä ei ole suunniteltu katettavaksi, vaan lumikuorma huomioidaan maataytön päällä olevana muuttuvakuormana /4, s. 94./

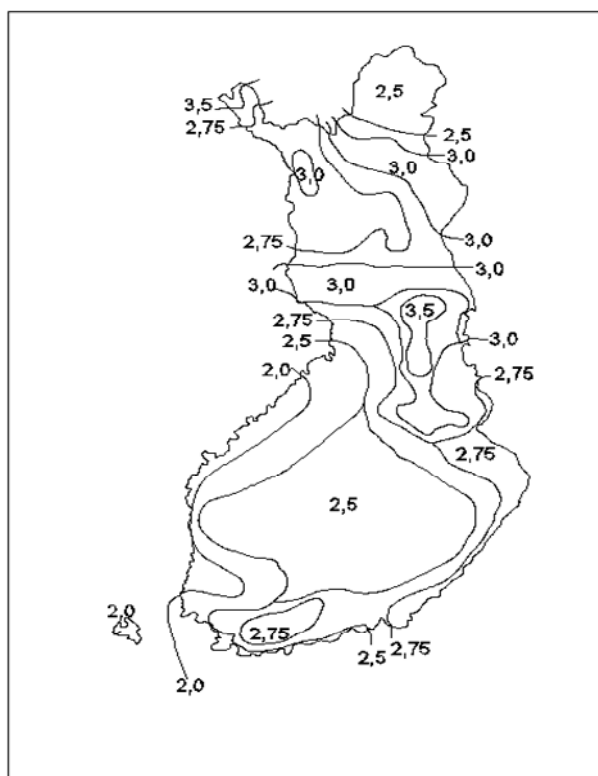
$S_k$  = maassa oleva lumikuorman ominaisarvo.

Maassa esiintyvät ominaislumikuormat  $S_k$  on esitetty viereisessä kuvassa ( $\text{kN/m}^2$ ).

Kuva 14.

Ominaislumikuormat.

Kuva RIL /4, s 92/.



### 5.1.3 Hyötykuormat

Nestesäiliöön ei kohdistu hyötykuormia vaan esimerkiksi säiliön tyhjennykseen tarkoitetun kuljetuskaluston kuormat viedään vähintään seinän korkeuden verran sivuun. Hyötykuormat käsitellään muutoin lumikuorman tavoin muuttuvana kiinteänä kuormana.

## 5.2 Vaakuormat

Vaakuormaa syntyy rakenteeseen maanpaineesta sekä nesteen aiheuttamasta paineesta.

### 5.2.1 Tuulikuorma

Tuulikuorma käsitellään muuttuvana kiinteänäkuormana, joka vaihtelee tuulen puuskista johtuen eri aikana. Tuulikuorma aiheuttaa suoraan painetta ulkopintoihin ja rakenteen huokoisuuden perusteella myös välillisesti sisäpintoihin. Nestesäiliöiden pyöreästä muodosta johtuen tuulikuorman osuus on vähäinen eikä näin ollen määräävä kuormitusyhdistelmä, joten tässä työssä tuulikuormaa ei huomioida.

### 5.2.2 Maanpaine

Maanpaine aiheuttaa vaakavoimia tapauksessa, jossa säiliö rakennetaan osittain maan sisään. Maanpaineeseen liittyy olennaisesti mm. maanlajike, rakenteiden muoto ja jäykkyys sekä pohjavesi.

### 5.2.3 Nestepaine

Nestepaine vaihtelee säiliössä täyttöasteen mukaan. Nesteenpaine aiheuttaa seinään vaakavoimia jokaiseen suuntaan vaakatasossa. Toisin sanoen neste pyrkii levittämään säiliön, aiheuttaen rengasvoiman säiliön kehälle. Tämä rengasvoima otetaan hallintaa jälkijännitetyillä punoksilla.

### 5.2.4 Jännevoima

Jälkijännitetyissä rakenteissa on huomioitava myös rakenteisiin aiheutuvat voimat punosten jännityksistä. Punosten jännittämisestä lasketaan säiliön saumojen kohtaan säiliön säteestä riippuva voima. Tämä voima vaikuttaa säiliöön vaarallisimmillaan silloin, kun säiliö on tyhjä ja maatäyttöä on säiliön ympärillä.

## 6 KUORMITUSYHDISTELMÄT

Kuormitusyhdistelyillä tarkoitetaan ominaiskuormien kertomista osavarmuusluvulla, jotka on laskettu todennäköisyys matriisien perusteella. Osavarmuusluvut on määritetty RIL-201-1-2008 julkaisussa eurokoodien mukaisesti.

### 6.1 Murtorajatila

Murtorajatilasta puhutaan, kun rakenne on menettänyt tasapainotilansa, vaurioitunut tai murtunut sekä vaurioituminen on aiheutunut väsymisestä. Tarkasteltavat murtorajatilat ovat seuraavat: /4, s. 37-39./

a) Rakennuksen tai rakenteen (jäykkä kappale) staattinen tasapaino (EQU/Sarja A)

$$\left. \begin{matrix} 1,1K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{K,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_i \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

b) Rakenteen tai rakenneosien kestävyys/geotekninen kantavuus (STR/ Sarja B)

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{K,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6)$$

kuitenkin vähintään:

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (7)$$

c) Geotekninen kantavuus (GEO/ Sarja C)

$$\left. \begin{matrix} 1,0K_{FI} \\ 1,0 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,3K_{FI} Q_{K,1} + 1,3K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8)$$

d) Onnettomuustilanne

kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k1}$ ) on lumi, jää- tai tuulikuorma.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{11} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (9)$$

jos pääasiallinen kuorma ( $Q_{k1}$ ) on muu kuin lumi, jää- tai tuulikuorma.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{21} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (10)$$

Kaavojen (5)...(10) selitykset:

$K_{FI}$  = kuormakerroin (seuraamusluokan mukaan)

$G_{k,j}$  = pysyvät kuormat

$\gamma_p$  = esijännitysvoiman osavarmuuskerroin

$P$  = esijännitysvoima

$Q_{k,1}$  = määräävä muuttuvakuorma

$\Psi$  = kuormien yhdistelykerroin

$Q_{k,i}$  = muut muuttuvat kuormat

$A_d$  = onnettomuuskuorma

## 6.2 Käyttörajatila

Käyttörajatila tarkoittaa mitoitusta todellisilla kuormilla ilman osavarmuuskertoimia. Käyttörajatilosta puhutaan, kun rajatila liittyy rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä. Lisäksi jos on kyseessä ihmisten mukavuus tai rakennuskohteen ulkonäkö. Mitoitus käsittää lähinnä muodonmuutoksia esimerkiksi siirtymiä ja värähtelyjä. /4, s. 39-42./

$$\text{Käyttörajatilassa tulee osoittaa, että } E_d \leq C_d \quad (11)$$

missä

$E_d$  = käyttökelpoisuuskriteereissä määritettyjen kuormien vaikutusten mitoitussarvo, joka määräytyy asianomaisen yhdistelmän perusteella.

$C_d$  = asianmukaisen käyttökelpoisuuskriteerin mukainen rajoittava mitoitussarvo.

a) Ominaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (12)$$

Käytetään palautumattomille rajatiloille = kuormituksen poistamisen jälkeen muodonmuutokset pysyviä.

b) Tavallinen yhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (13)$$

Käytetään palautuville rajatiloille = kuormituksen poistamisen jälkeen muodonmuutokset palautuvat täysin ennalleen.

c) Pitkäaikaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (14)$$

Käytetään pitkäaikaisvaikutuksille ja rakennuksen ulkonäköön liittyvissä tapauksissa. /4, s.39-42./

### 6.3 Käytettävät kuormitusyhdistelmät

Säiliön kuormitusyhdistelmät rajataan kahteen yhdistelmään seuraavasti:

KY 1. Asennetaan säiliö lähes kokonaan maanpäälle. Kuormitus on tällöin nestenpaineen aiheuttama kiinteäkuorma, säiliön sisäpuolella.

KY1 = neste + rakenteet

KY 2. Asennetaan säiliö osittain maan sisään jolloin pahin kuormitusyhdistelmä on säiliö tyhjänä. Kuormana käytetään maataytöstä aiheutuvaa kiinteää maanpaine kuormaa sekä pintakuormana muuttuvaa lumikuormaa.

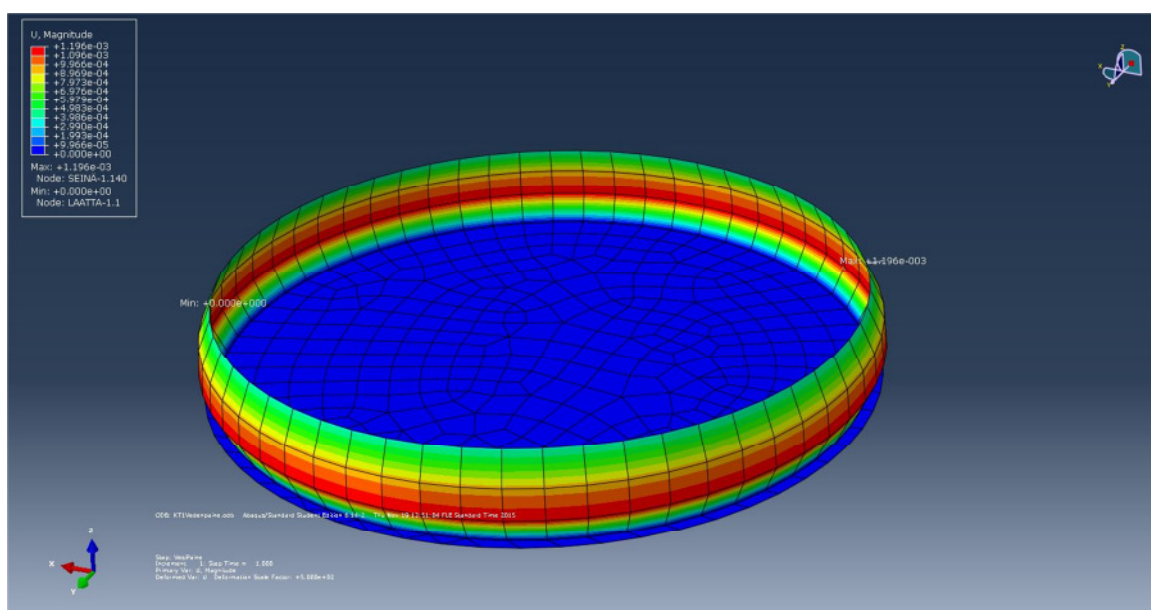
KY2 = maanpaine + lumikuorma + rakenteet

## 7 SÄILIÖN MITOITUS JA LASKELMAT

Opinnäytetyössä tutkittiin säiliön rakennetta sekä käsinlaskelmin että osittain FEM laskelmin. FEM laskemaa rajattiin aikataulusyistä alkuperäistä suunnitelmaa huomattavasti suppeammaksi.

### 7.1 Rakennemalli

Säiliön rakennemalli on lähes pyöreä rengas ja elementin alareuna toimii nivelenä. Alla kuva 15 Abaqus -ohjelmasta. Kuvassa näkyy elementtimenetelmän laskentaverkko. Säiliö on todellisuudessa levymaisista seinäelementeistä koottu monikulmio. Elementtejä ei ole mallinnettu yksityiskohtaisesti todellisen tilanteen mukaan, vaan malli on tehty pyöreäksi, mallin tekemisen helpottamiseksi.



Kuva 15. Abaqus malli säiliöstä

LASKELMAT ON SALATTU TÄSTÄ ETEENPÄIN s. 33-54

## 8 TUTKIMUS

### 8.1 Tausta

Maatalouden perinteisellä menetelmällä tehdyt lietelantasäiliöt ovat olleet opinnäytetyön tekijälle jo useamman vuoden ajalta tuttuja. Uuden säiliömallin tutkiminen aloitettiin perehtymällä aiemmin työssä esitettyihin markkinoilla oleviin malleihin. Erityinen huomio kiinnittyi ulkomailta tuotuun saman tyyppiseen malliin, jota käytiin tutkimassa työmaakäynneillä.

Tutkimuksessa täytyi lähestyä aihetta monelta eri kannalta ottaen huomioon asiakkaan tarpeet, työmaan helppous, asennuksen, kuljetuksen ja jännitystyön haasteet. Lisäksi elementtitehtaan työtavat ja menetelmät sekä kustannustehokkuus olivat tärkeässä roolissa.

### 8.2 Mallintaminen

Työssä tutkittiin jo aiemmin tehtyä mitoitusta perinteisellä menetelmällä tehdystä säiliöstä. Abaqus ohjelmalla tehtiin 3d-malli ja laskettiin siirtymiä sekä jännityksiä. Tuloksia verrattiin 2000 - luvun alussa laskettuihin tuloksiin. Mallista saatiin tulosten suuruusluokka samaan tasoon, vanhojen laskelmien kanssa. Tämä malli oli tarkoitus ottaa pohjaksi Abaqus ohjelmalla selvittämiseen uuden säiliön voimasuureista. Jännitetyn säiliön mallintamista kokeiltiin erimenetelmillä, mutta tutkimuksen edetessä Abaqus mallia ei saatu toimimaan halutulla tavalla. Tarkoitus on jatkaa myöhemmin tarkempaa mitoitusta kyseisellä elementtimenetelmällä.

Mallintamisessa suurin kompastuskivi oli uuden ohjelman opettelu kokonaan ja yksinkertaisesti aika-taulu ei tähän venynyt tarpeeksi. Abaqus mallia kokeiltiin sekä yksinkertaisena rengasmallina että yksittäisen elementin mallintamisena. Jännevoiman mallintamista säiliöön tutkittiin sekä renkaan muotoiseen säiliöön että kahden elementin väliseen saumaa pistekuormana. Mallista saatuihin tuloksiin ei pystytä tällä mallintamisen kokemuksella ottamaan tarkemmin kantaa.

#### 8.2.1 Elementti

Elementin poikkileikkausmuotoa pohdittiin ja tutkittiin työn aikana moneen kertaan ja lopulta päädyttiin kuljetus- sekä valmistuskustannuksiltaan toimivaan ratkaisuun. Elementin kokoon vaikutti suoraan käytettävä muottitekniikka, kuljetuksen ja nosturien rajat sekä säiliön suunniteltu maksimikoko. Elementin koekuormitusta mietittiin kannattaako tehdä, mutta tämä jäi pohdinnan tasolle.



### 8.2.2 Sauma

Säiliön teon kannalta oleellista olisi toimiva ja yksinkertainen ratkaisu. Työssä tutkittiin eri vaihtoehtoja elementtien pystysaumojen toteutukseen. Haasteena oli, että samanlaisella elementtityypillä täytyi saada tehtyä usean kokoista säiliötä välillä 3000 - 6500 kuutiota. Käytännössä tämä tarkoittaa, että säiliön säteen muuttuessa sama elementin pystysauma pitää asettua tiiviisti kiinni eri kulmilla.

Aluksi sauman sommittelussa lähdettiin yksinkertaisesti muottiratkaisusta, mutta todettiin että uusi-muotti on tehtävä koneistustyönä. Koneistuksen tarkkuudella pyrittiin suunnittelemaan rakenne, joka ei tarvitse pystysaumoihin muotituksia työmaalla. Lisäksi sauman oli oltava suurissa säiliöissä aina puristettuja, niin pystysauma lähdettiin suunnittelemaan raudoittamattomana.

Elementin ja pohjalaatan välinen sauma tiiveyttä pohdittiin ja päädyttiin varmistamaan vesitiiveys jälkivaluilla molemmiin puolin elementtiä jännitystyön jälkeen. Elementin ja laatan väliin asennetaan lisäksi tiivistysnauhakaista tasaamaan pohjalaatan epätasaisuuksia.

### 8.2.3 Asennus

Elementtien asennuksessa päädyttiin heti ulkopuolisen asennusurakoitsijan käyttöön. Asennuksesta pidettiin useita suunnittelupalavereita ja tutkittiin porukassa toimivaa ratkaisua. Elementit päädyttiin asentamaan autonosturilla säiliön ulkopuolelta. Tällä poistettiin vaara vaurioittaa pohjalaattaa asennuksen yhteydessä.

### 8.2.4 Jännitystyö

Säiliön jälkijännittämisestä käytiin keskustelua usean eri tahon kanssa siitä, miten saadaan toimivin ratkaisu tehtyä. Aluksi mietittiin Lujabetonin työntekijöiden käyttämistä punosten asennuksessa sekä jännittämisessä. Lopputulemaksi päädyttiin tässäkin työvaiheessa käyttämään ulkopuolista urakoitsijaa, joka hoitaa jännepunosten asennukset, jännityksen ja materiaalit. Työn aikana kilpailutettiin eri jännitystyön tekijät ja valittiin heistä sopivin toimija Lujabetonin kannalta.

## 9 TULOKSET

Työn tuloksena saatiin uusi elementtityyppi Lujabetonin vakiotuotejärjestelmään. Lisäksi työssä tehtiin nestesäiliön rakentamista varten rakennustapaselostus (liite 3) sekä myynnin tueksi myyntiesitemalli (liite 4). Säiliön teko menetelmästä haettiin ja saatiin hyödyllisyysmallisuoja.

Elementin tekoa varten tehtiin tuotantoa varten muotintekosuunnitelma sekä elementin työpiirustukset. Elementin työmenekki arvioitiin tuotannon kanssa ja yhdessä myynnin kanssa saatiin selville säiliön rakentamisen kustannukset (liite 5).

Opinnäytetyön avulla tehtiin myös Exel pohjaisia laskentaohjelmataulukoita. Taulukoista saadaan selville erikokoisille säiliöille tarvittavat tekniset tiedot työmaata sekä myyntiä varten alla olevan luettelon mukaisesti:

- valmistettavien elementtien lukumäärä säiliön koon mukaan
- säiliön ympärille asennettavien punosten lukumäärä ja yhteensä juoksumetrit
- elementtien asennus etenemä
- säiliön säde
- säiliön halkaisija
- säiliön tilavuus
- tarvittavat voimasuureet säiliön punosten mitoittamiseen
- jännitykset saumassa veden paineen kanssa

## 10 POHDINTA

Insinööritöön alkaessa Lujabetonilla oli ajatuksena tehdä kehitystyötä maatalouden lietevaraston päivittämiseksi tämän päivän tarpeisiin. Työn aikana opittiin paljon uutta ja tullaan jatkossa vielä oppimaan.

Työssä oli tarkoitus perehtyä vieläkin syvemmin FEM pohjaiseen mitoittamiseen Abaqus 3d-mallinnusohjelmalla, mutta valitettavasti aikataulu syistä tähän ei ehditty. Mallinnusta kuitenkin päästiin kokeilemaan ja yksinkertaisemmalla mallilla saatiinkin jo suuruusluokaltaan järkeviä tuloksia. Abaqus ohjelman käyttö oli itselleni täysin uutta ja tässäkin suhteessa työtä olisi voinut rajata hie-  
man erilailla.

Laskenta tehtiin käsin laskentana ja Exel taulukon avulla. Taulukkoa muokataan jatkossa tarpeen mukaan siten, että siitä saadaan lisätietoa säiliön mitoittamisesta. Laskenta arvot on laskettu var-  
malle puolella peruselementin kestävyys suhteen ja jatkossa tehdään lisätarkasteluja yksittäisistä  
detaljeista, joiden avulla hiotaan teräsmäärät minimiin. Nestesäiliöiden laskennassa on käytettävä  
FEM –ohjelmaa, mikäli halutaan saada tarkkoja tuloksia. Tässä opinnäytetyössä on siten laskettu  
alustava säiliön mitoitus.

Työssä oli tarkoitus myös vertailla toteutuneen rakennetun säiliön siirtymiä elementtien sisään asen-  
nettavilla siirtymä antureilla. Tätä vaihetta ei ehditty tässä opinnäytetyössä toteuttamaan, vaan siir-  
tymien tarkkailu jää Lujabetonin jatkotutkimusten ja kehitysten varaan.

Opinnäytetyössä tutkittiin säiliön rakennetta sekä käsinlaskelmin että osittain FEM laskelmin. Lujabe-  
toni Oy jatkaa kehitystä tuotteen hyödyntämisessä vieläkin suurempiin nestevarastosäiliöihin.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Luja-yhtiöiden www-sivut (viitattu 12/2016). Saatavissa <http://www.luja.fi>

Mönkkönen, Pekka ym. Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. Helsinki: Nykypaino Oy. 2004.

[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/531518/luke-luobio\\_76\\_2015.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/531518/luke-luobio_76_2015.pdf?sequence=1) Maanvarausten tiivistettyjen varastoaltaiden täydentävät ohjeet

[www.mmm.fi](http://www.mmm.fi)

RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Hansaprint Oy. 2. korjattu painos. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010.

Suomen Betoniyhdistys ry ja Leskelä, Matti 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 BY 210

Suomen Betoniyhdistys ry. Betonitekniikan oppikirja 2004 BY 201

Kuvat Lujabetoni Oy:n

Hyödyllisyysmallisuoja U20154117 Suomi.

<http://www.pumppupalvelu.fi>

<http://www.dywidag-systems.com/>